

희생과일을 이용한 교각주위의 국부세굴 방지실험

An Experimental Study of Local Scour Countermeasures around Bridge Pier using Sacrificial Piles

안상진* · 김용용** · 노성오*** · 윤석환****

1. 서 론

교각 또는 기초를 세굴로부터 보호하는 방법에는 세굴에 대한 하상물질의 저항력을 증가시키는 방법과 하상물질을 세굴하는 하강류와 마제형와류와 같은 세굴유발 요인의 능력을 감소시키는 방법의 두가지 접근방법이 있다. 첫번째 접근방법은 교각주위 하상에 큰 입경의 재료나 사석, 테트라포드(tetrapod), 케이블 블록등 과 같은 보호층을 부설하는 방법이며, 두번째 접근방법은 교각 상류에 교각보호장치를 설치하거나, 교각 전면에 부착되는 방지판이나 푸팅의 상판을 상류로 연장하거나 원환을 바닥 또는 바닥부근에서 교각에 부착시키는 방법이다.

하강류를 차단하는 방법의 하나는 교각의 상류부에 방지 구조물을 설치하여 하강류를 차단 또는 약화시키는 것이다. 그러나 교각 상류부의 방지 구조물의 수가 많게 되면 하천의 단면을 수축시켜 수축세굴의 발달이 예상되어 교각은 세굴을 감소시키기 보다는 증가시키는 인자가 되기도 한다. 따라서 어떤 조건에서 어느정도의 세굴감소 효과를 얻을 수 있는지 그 범위를 밝히는 것이 필요하다.

본 연구에서는 국부세굴을 방지시키는 방법의 하나로 세굴방지 시설물인 희생과일(sacrificial pile)을 모형교각 주변에 설치한 후 최대평형 세굴심과 시간과의 관계에 대하여 실험을 통하여 살펴보고, 수심별, 수로경사별 희생과일의 설치각도별로 실험을 실시하여 기존의 방지시설이 부착되지 않은 교각에 대한 실험결과와 비교하여 이것으로 인한 세굴방지효과와 세굴감소 범위를 밝혀 교량설치 및 기존 교량의 보수에 따른 구조물의 안전성을 평가하는 기본자료로써 활용하는데 그 목적이 있다.

2. 세굴방지 실험

2.1 실험수로

본 연구를 위한 실험장치는 수로길이 12m, 수로폭 0.4m, 수로높이 0.4m의 개수로를 이용하였다. 설치된 실험수로는 양측 벽면이 유리로 되어 있어 흐름을 관찰할 수 있고, 수로경사를 0.0~4.0% 범위까지 변화시킬 수 있도록 되어 있다. 설치된 실험장치의 개략도는 Fig. 2.1과 같다.

수로바닥재료는 수로바닥에 깊이 10cm, 길이 6m로 깔았으며, 채취된 시료중에서 5mm체(#4체)를 통과한 잔골재만을 선별하여 체가름분석을 실시한 결과 가적통과율 50%에 해당하는 중앙입경(d_{50})은 0.8mm, 기하학적 표준편차(σ_g)는 1.95였으며, 비중이 2.58인 불균등 모래를 사용하였다.

* 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 충북대학교 공과대학 강사, 공학박사

*** 주식회사 삼부토건 공사과장

**** 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

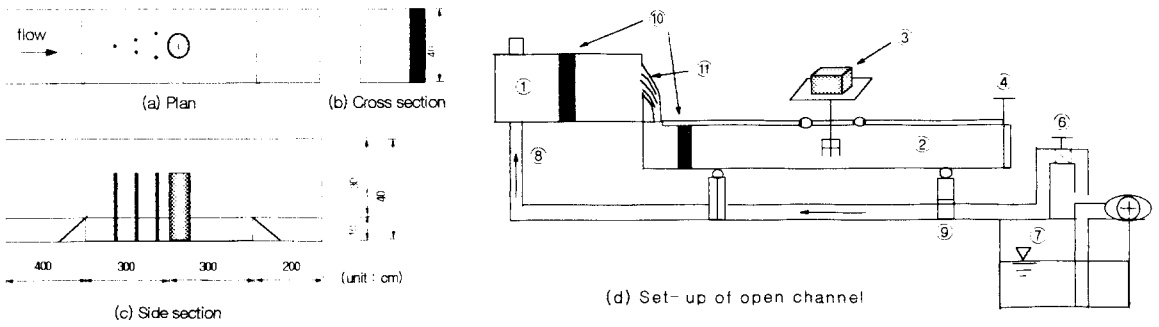
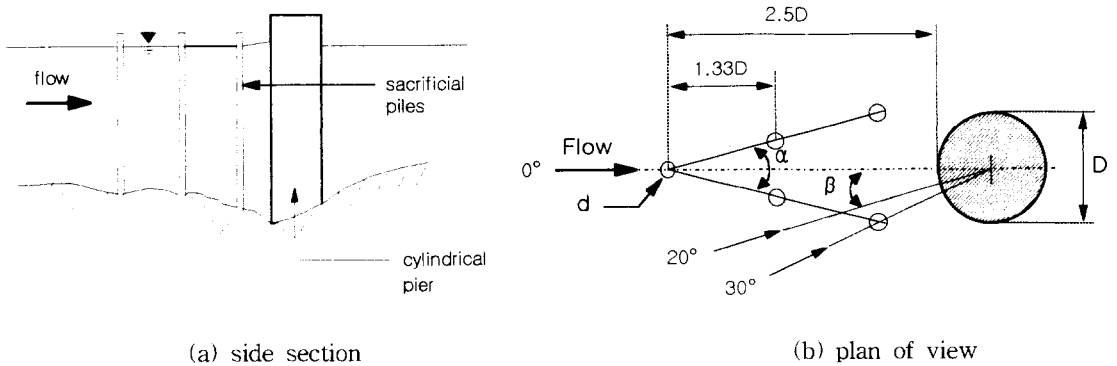


Fig. 2.1 Open channel apparatus for the experiment of local scour

2.2 모형교각 및 희생파일 설치

모형교각은 직경이 각각 2.5cm, 3.2cm, 및 4.0cm인 크기가 다른 원형교각을 사용하였으며, 또한 직경 0.5cm인 모형 희생파일 5개를 설치하였다. 최상류에 위치한 희생파일로부터의 각도를 다르게 하여 설치한 후 실험을 실시하였다. 모형교각 및 희생파일의 표면은 조도의 영향을 무시할 수 있도록 알루미늄으로 제작하여 설치하였다. 세굴방지 실험에 사용된 교각과 희생파일 모형은 Fig. 2.2와 같으며, 교각 및 희생파일의 제원은 Table 2.1과 같다.



(a) side section (b) plan of view
Fig. 2.2 Pier Model and Sacrificial Piles used for experiment

Table 2.1 The pier and sacrificial pile factors used for experiment

Pier		Sacrificial piles			
diameter D (cm)	opening ratio R_0 (%)	diameter d (cm)	sacrif. pile n (number)	apex angle α ($^\circ$)	skewness angle β ($^\circ$)
2.5	93.8	0.5	5	15, 30, 45, 60	10, 15, 20, 30
3.2	92.0				
4.0	90.0				

2.3 실험 및 측정방법

실험은 희생파일을 설치하지 않은 모형교각만으로 세굴심의 영향을 살폈으며, 다음 실험은 모형교각과 희생파일을 설치한 후 세굴심의 영향을 알아보고 앞의 실험과 비교·분석하였다. 실험은 시간경과에 민감하므로 유속 및 세굴심의 측정은 실험보조원을 각각 배치하여 동시에 측정을 시도하였다.

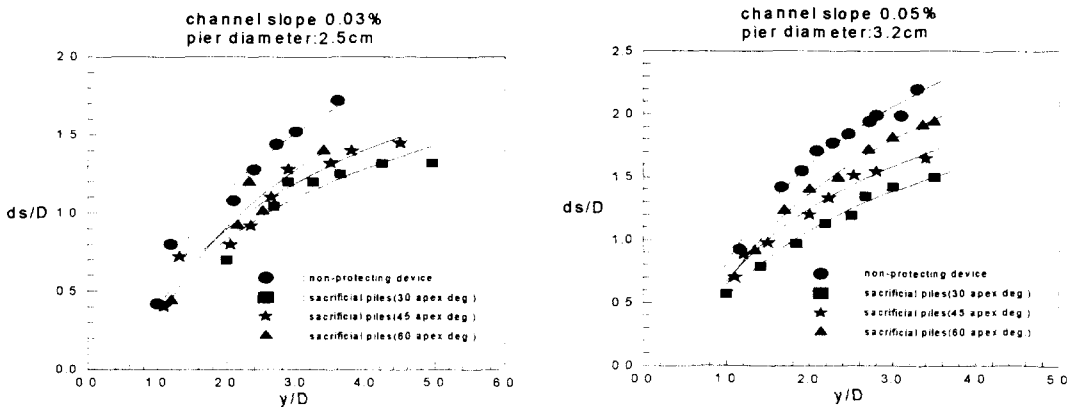
실험장치를 이용하여 실시한 실험은 다음과 같다. (1)수심변화에 따른 세굴심의 변화, (2)교각크기에 따른 세굴심의 변화, (3)희생파일과 모형 교각간의 거리에 따른 세굴심의 변화, (4)시간변화와 희생파일 설치각도별 세굴심의 변화, (5)교각주위의 지점별 세굴심의 변화, (6)희생파일의 향점각도(apex angle; α)에 따른 세굴심의 변화, (7) 희생파일의 왜곡각도(skew angle; β)에 따른 세굴심의 변화

3. 실험결과 분석

3.1 수심변화에 따른 세굴심의 변화

수로경사가 0.03% 및 0.05%이고 직경 2.5cm와 3.2cm인 원형교각에 대하여 희생파일을 설치하지 않았을 경우와 희생파일을 설치한 후 최상류에 위치한 희생파일로부터 최하류에 위치한 희생파일 사이의 각도인 향점각도를 30°, 45° 및 60°로 주어 설치한 경우에 대하여 수심변화에 따른 세굴심의 영향을 실험하였다. 수평축을 수심, 수직축을 세굴심 축으로하여 수심변화에 따른 최대 세굴심을 나타낸 것이 Fig.3.1의 (a), (b)와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 동일한 교각에서는 수심이 증가함에 따라 무차원세굴심(ds/D)도 증가하는 것을 알 수 있다. 희생파일의 향점각도별 비교에서는 희생파일을 설치하지 않았을 때, 향점각도 60°, 45° 및 30°의 순으로 나타나 향점각도가 세굴심에 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 수심이 증가 할수록 향점각도별 세굴심의 증가폭은 점차 커지는 것을 알 수 있다.



(a) channel slope 0.03%(D=2.5cm)

(b) channel slope 0.05%(D=3.2cm)

Fig. 3.1 Maximum scour depth with flow depth

3.2 희생파일의 거리에 따른 세굴심의 영향

희생파일의 거리에 따른 영향을 알아보기 위하여 교각 상류에 일정한 향점각도($\alpha=30^\circ$ 및 60°)를 둔 희생파일 5개를 설치하고 교각과 최상류에 위치한 거리를 L을 각각 다르게 하여 최대세굴심의 영향을 실험한 결과는 Table 3.1과 같다.

Table 3.1에서 나타난 바와 같이 최대세굴심은 희생파일을 설치하지 않았을 때, $L=3.5D$, $L=3.0D$, $L=2.0D$, $L=2.5D$ 순으로 나타났다. 따라서 희생파일과 교각과의 거리의 영향은 $L=2.5D$ 인 경우가 세굴심 감소효과가 최대가 됨을 알 수 있다.

Table 3.1 The maximum scour depth accordings to distance
between sacrificial pile and pier(flow depth=10.2cm)
(unit: cm)

distance (L)	pier diameter (D)	D=2.5cm		D=3.2cm		D=4.0cm	
		$\alpha=30^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=60^\circ$
2.0D		3.2	3.6	3.6	4.0	4.0	4.4
2.5D		3.1	3.4	3.5	3.8	3.8	4.2
3.0D		3.2	3.5	3.7	3.9	4.2	4.3
3.5D		3.4	3.9	4.1	4.3	4.4	4.9
no sacrificial piles		3.5	4.3	4.4	4.7	4.8	5.4

3.3 시간경과에 따른 세굴심의 변화

수심을 일정하게 한 후, 수로경사 0.03%이고 희생파일을 설치하지 않았을 경우와 희생파일의 향점각도를 각각 30° 및 60° 로 주어 각각 설치한 경우에 대하여 일정한 수심을 유지 ($y=10.2\text{cm}$)시키고 시간변화에 따른 최대 세굴심을 나타낸 것이 Fig.3.2와 같다. Fig. 3.2에서 알 수 있듯이 최대세굴심의 크기는 희생파일을 설치않았을 경우, 희생파일의 향점각도가 30° 및 60° 의 순으로 나타났다. 또한, 시간이 경과함에 따라 최대세굴심은 하상입자들이 이송되어 세굴과 퇴매움을 반복하는 이동상 조건으로 나타났으며, 초기 세굴시작 20분이내에서 최대세굴심에 거의 도달하고 있음을 보여주고 있다.

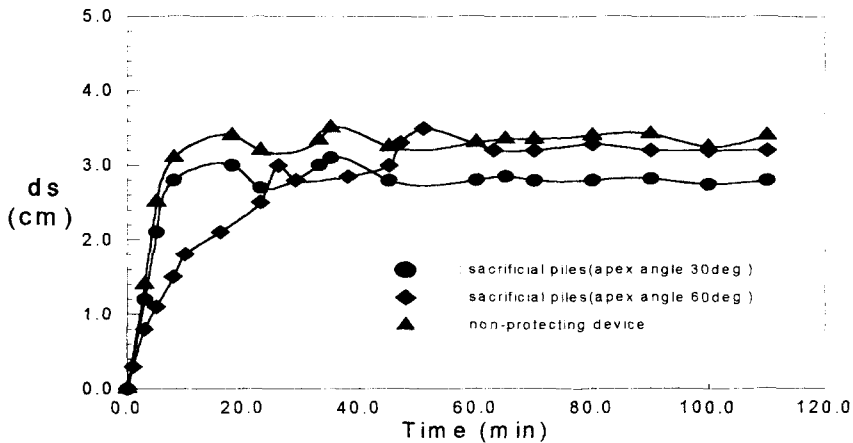


Fig. 3.2 Variation of maximum scour by time step

3.4 향점각도에 따른 교각주위의 세굴심의 변화

실험수로 상류측 기준에서 교각의 전면(ds_U), 후면(ds_B), 좌측(ds_L), 우측(ds_R)의 4가지 값과 그중 제일 큰 값을 최대평형세굴심(d_{sm})으로 정의하였다.(Fig.3.3)

실험수로에 직경 2.5cm, 3.2cm, 4.0cm인 교각과 향점각도 15° , 30° , 45° 인 희생파일을 각각 설치하고, 일정 흐름조건하에 교각주위의 4지점에 대한 최대세굴심을 실험을 실시하여 교각 크기별로 분석한 결과는 Fig.3.4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 세굴심의 크기는 교각 정면, 교각 좌·우측면 교각 후면의 순으로 나타났으며, 교각 좌·우측의 세굴심은 거의 유사한 결과를 타나내고 있다.

또한 향점각도에 따른 최대세굴심은 희생파일을 설치하지 않았을 때, 희생파일을 설치하고 향점각도가 45° , 15° , 30° 의 순으로 나타났다. 이는 향점각도가 최대세굴심에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

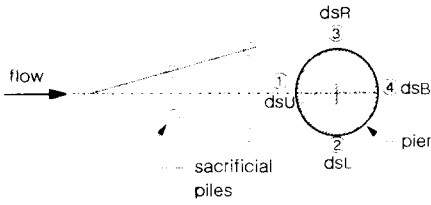
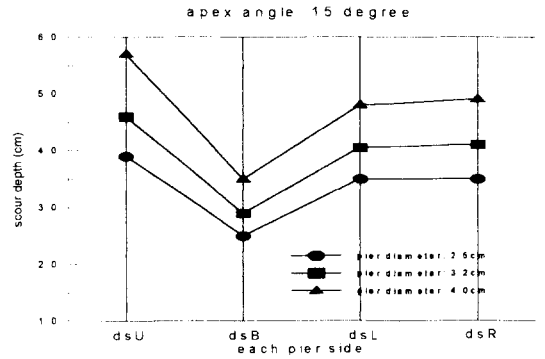
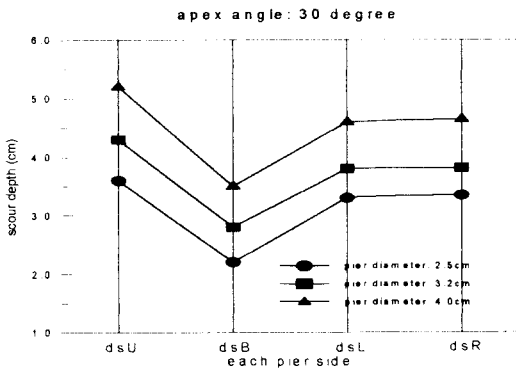


Fig.3.3 The location of each pier side

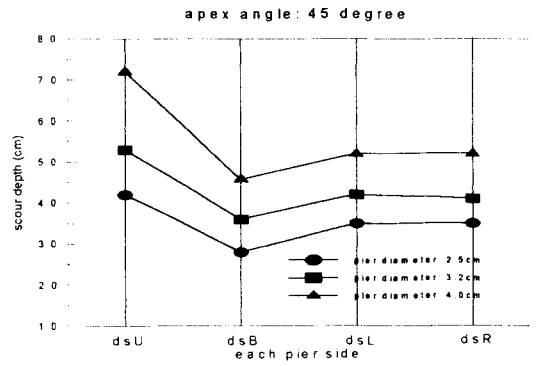


(a) $\alpha = 30$ degree

Fig.3.4 Scour depth of each pier side by apex angle



(b) $\alpha = 30$ degree



(c) $\alpha = 45$ degree

Fig.3.4 (Continue)

3.5 희생파일의 비틀린 각도(β)에 따른 세굴심 감소

교각 상류에 5개의 희생파일을 설치하고 최상류에 위치한 희생파일로부터 최하류에 위치한 희생파일 사이의 각도인 향점각도(α)가 30° 일 때, 흐름방향과 비틀린 각도(β)를 각각 0° , 10° , 15° , 20° 및 30° 로 하여, 흐름강도(V/V_c)에 따른 세굴심의 감소영향을 알아보았다. 흐름방향과 비틀린 각도에 따라 세굴심의 감소율을 나타낸 결과는 Table 3.2와 같으며, Table 3.2에서 알 수 있듯이 흐름강도가 크고 비틀린 각도가 크게됨에 따라 최대세굴심이 교각 정면에서 발생되지 않고 교각 측면부에서 나타났으며 희생파일을 설치하지 않았을 때보다 더 큰 세굴심이 나타났다.

Table 3.2 The reduced effectiveness of skew angle of sacrificial piles as a scour countermeasure

skew angle $\beta(^{\circ})$		0	10	15	20	30
V/V _c	0.6	31%	26%	28%	18%	22%
	0.9	28%	14%	19%	13%	15%
	1.48	9%	6%	2%	1%	-6%
	1.84	11%	5%	1%	-4%	-8%

4. 결 론

본 연구는 교각 주위에서의 발생하는 하강류를 차단하여 세굴심을 방지하기 위한 실험적인 연구로서 모형교각 상류에 5개의 희생과일을 설치하고 수심, 수로경사, 거리, 교각크기, 시간, 교각 Froude수, 흐름강도, 희생과일의 향점각도, 교각의 유수방향과 비틀어진 각도별로 실험을 실시하고 분석한 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 희생과일의 향점각도에 대한 세굴심의 영향은 희생과일을 설치하지 않았을 때, 향점각도 60° , 45° 및 30° 의 순으로 나타났다. 따라서 향점각도가 세굴심에 영향을 미치고 있으며, 수심이 증가 할수록 향점각도에 따른 세굴심 방지효과는 점차 커지는 것을 알 수 있다. 또한 희생과일의 향점각도 30° 이내에서 세굴방지효과가 최대로 됨을 알 수 있었다.
- (2) 모형교각과 희생과일간의 거리에 따른 최대세굴심은 희생과일을 설치하지 않았을 때, $L=3.5D$, $L=3.0D$, $L=2.0D$, $L=2.5D$ 순으로 나타났다.
- (3) 교각주위의 지점별 최대세굴심은 모형교각 전면, 측면, 후면의 순으로 나타났으며, 교각 좌우측면에서의 최대세굴심의 차이는 거의 보이지 않았다.
- (4) 희생과일의 왜곡각도가 커질수록 세굴방지효과는 작게 나타났으며, 흐름강도가 크고 왜곡각도가 크게됨에 따라 희생과일을 설치하지 않았을 때보다 세굴이 더 많이 되었다. 따라서 희생과일의 설치시 흐름방향으로 설치하여야 세굴방지효과를 최대로 할 수 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Bruce W. Melville, Anna C. Hadfield, and Christine S. Lauchlan, "Sacrificial Piles and Iowa Vanes as Pier Scour Countermeasures", Tennessee, ASCE, 1998 International Water Res. Eng. Conference, Vol.1, 1998, pp.39~44.
2. Hadfield, A.C., "Sacrificial piles as a bridge pier scour countermeasure," M.E. thesis, Civil and Resource Engineering Dept., The University of Auckland, Auckland, New Zealand., 1997.
3. Posey, C. J., "Test of Scour Portection for Bridge Piers", J. of Hydraulics Division, Vol.100, No. HY12., 1974.
4. Richardson, et al., "Evaluating Scour at Bridges", Hydraulic Engineering Circular No.18 3rd Ed., FHWA, U. S. Dept. of Transportation, 1997.
5. Wang, T.W., "A study of pier scouring and scour reduction," Proc., 9th. Congress, Asia Pacific Div., IAHR, Singapore, 1994, pp.18~28.
6. 건설교통부, 하천횡단 구조물의 세굴안전진단 시스템의 개발, 1997.
7. 안상진, 김응용, 김종섭, 김진극, "세굴방지 시설물에 의한 교각의 국부세굴 방지실험", '98년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, 1998, pp.461~465.
8. 안상진, 김응용, 이재경, "하강류 차단에의한 교각세굴 방지실험" 대한토목학회논문집, Vol.19, No. II -1, 1999, pp.45~57.